

TARTU ÜLIKOOL  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Ökoloogia ja maateaduste instituut  
Geoloogia osakond

Marko Kabel

**Pääsküla prügila vajumise hindamine Maa-ameti ALS-i andmete põhjal**

Bakalaureusetöö geoloogias (12 EAP)

Juhendajad: Peeter Paaver  
Kalle Kirsimäe

Kaitsmisele lubatud .....

Juhendaja .....

allkiri, kuupäev

Tartu 2019

## **Assessment of the subsidence of the Pääsküla landfill on the basis of ALS data**

The aim of this work is to assess the suitability of ALS altitude data to monitor landfill behaviour and to investigate the subsidence of Pääsküla landfill on the basis of 2008-2018 ALS data and compare them with the results of the post-closure monitoring company ELLE OÜ. Cross-sections and raster images have been processed and created with LAStools LiDAR processing software and MapInfo Discover 2016.

P470 Engineering geology

*Keywords: subsidence, Pääsküla landfill, LiDAR*

## **Pääsküla prügila vajumite hindamine ALS-i andmete põhjal**

Käesoleva töö eesmärgiks on hinnata ALS kõrgusandmete sobivust prügilate vajumiskäitumise jälgimiseks ja uurida ALS andmete põhjal Pääsküla prügila pinna vajumisi aastatel 2008-2018 ning võrrelda neid sulgemisjärgset seiret teostava ettevõtte ELLE OÜ maapinna vajumise seire tulemustega püsipunktides. Läbilõiked ja rasterid on kõrgusandmete põhjal moodustatud LAStools rakenduse ja MapInfo Discover 2016-ga.

P470 Ehitusgeoloogia

*Märksõnad: vajumid, Pääsküla prügila, LiDAR*

## Sisukord

Sissejuhatus .....	4
1. Pääsküla soo ja vaadeldava ala geoloogiline ehitus .....	7
2. Pääsküla prügila sulgemislahendus .....	8
3. Aerolaserskanneerimine .....	11
4. Materjal ja meetodid.....	14
5. Tulemused.....	16
6. Arutelu .....	24
Kokkuvõte.....	27
Summary .....	28
Tänuavaldused.....	29
Kasutatud kirjandus .....	30
Lisad .....	31

## Sissejuhatus

Prügi on inimsivilisatsiooni lahutumatu osa. Keskaegses ühiskonnas visati ebavajalikud jäätmed lihtsalt aknast välja tänavale või lauda taha hunnikusse. Kiiresti kasvanud prügi hulk tingis vajaduse selle massi äravedamiseks ja ladustamiseks eraldiseisvatesse prügilatesse, mis viimase 100 aasta jooksul on eksponentsiaalselt kasvanud nii mahult kui ka pindalalt. Alles suhteliselt hiljuti on prügi, eriti sorteeritud prügi, muutunud ressursiks ning jäätmekäitlus ja jäätmete taaskasutus uueks normaalsuseks.

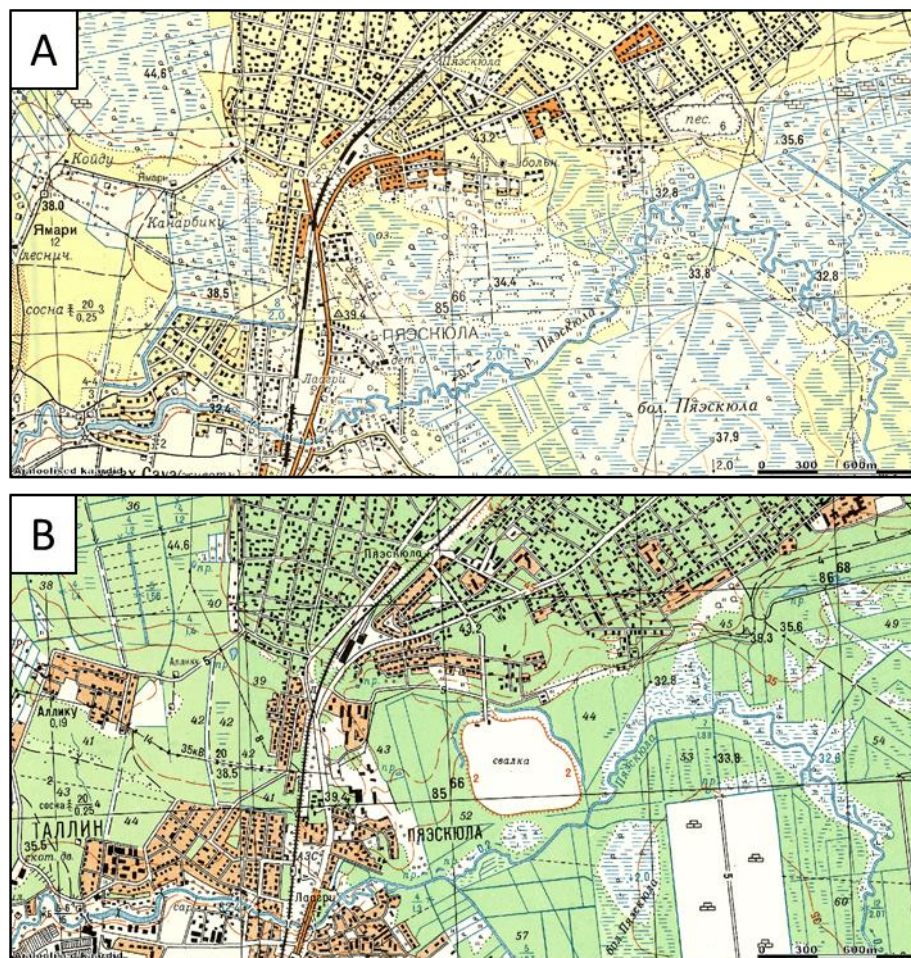
Paljud kunagi rajatud prügilad paiknevad ajalooliste linnasüdamete lähedal ning ei vasta kaasaegsetele ohutus- ja keskkonnanõuetele. Seepärast on võetud suund vanade prügilate sulgemisele ja uute nõuetelevastavate prügilate-jäätmekäitlus ladestute rajamisele. Euroopa prügimajanduspoliitika on viimase 20 aasta jooksul liikunud eemale ladustamisest ja suurendanud taaskasutuse ning energiatootmise osakaalu. Kuna jäätmete ladustamine on olnud põhiline olmejäätmetega käitlemise viis industriaalajastu algusest saati, on tulemuseks see, et näiteks Ühendkuningriigis on rohkem kui 20 000 suletud tavajäätmete prügilat. Prügilate sulgemine ei tähenda, et need võib unustada ja sellega on kõik probleemid likvideeritud. Paljusid suletud hoidlaid ei hallata ega monitoorita ja nende seisund on ebamäärane. Paljud neist kujutavad endast potentsiaalset saasteohtu leostiste ja gaasilekke kaudu veekogudesse ja atmosfääri ning samuti pinnasesse. Jätkuv prügi lagunemine põhjustab kestva pinnase vajumist. Isegi kui lagunemisprotsess on täielik, on suur võimalus vajumite tekkimiseks, eriti raskuse lisamisel pinnasele. Need protsessid ja omadused kujutavad endast potentsiaalseid riske/ohte looduskeskonnale ning infrastruktuuri ja ehitiste struktuursele terviklikkusele varem mainitud aladel (Powrie *et al.*, 2015).

Kuna maailma suureneva rahvaarvuga kaasnev surve uute infrastruktuuride ja uusarenduste järele kasvab, on vältimatu, et ehitusprojektid satuvad kokku suletud jäätmeoidlatele, kuhu on maetud olmejäätmeid. Ehitamine nendele aladele toob kaasa iselaadseid ohte/riske mis on seotud suurte ja raskesti ennustavate vajumite tekkimise, gaaside eraldumise ja saastunud leostisega.

Eestis käivitati keskkonnanõuetele mittevastavate prügilate sulgemise programm 1990date aastate keskpaigas. Eesti Vabariigi Keskkonnaministeeriumi hinnangult oli 1990. aastateni prügila praktiliselt igal suuremal asulal ja ettevõttel ning enamasti puudus neis igasugune

keskkonnaalane kontroll ja järelevalve. Alles 1990ndatest hakati järk-järgult sulgema keskkonnoahtu ja -reostust põhjustavaid prügilaid ja alustati järelevalvet jäätmevoogude üle. Varem tegutsenud ligikaudu 350-st prügilast on tänaseks suletud kõik keskkonnanõuetele mittevastavad tavajäätmete prügilad ning on rajatud regionaalsed kõikidele tänapäevastele tehnilistele ja keskkonnakaitselistele nõuetele vastavad prügilad (Prügilate sulgemise tagamaad ja tagajärjed, 2009)

Üks suurtest Eestis suletud prügilatest on Pääsküla prügila, mis asub Tallinna linna edelapiiril, Nõmme linnaosas Raba tänava piirkonnas. Pääsküla prügila kujunes välja 1950-ndate aastate lõpus, kui Raba tn. piirkonnas olevaid turbaauke hakati täitma valdavalt inertsete jäätmetega (Hendrikson & Ko *et al.*, 2003). Prügila rajati ja seadustati 1974. aastal ajutise olme- ja tööstusjäätmete ladestuspaigana (Tallinna kodulehekülg, 2019). Pääsküla prügila oli põhiline Tallinna ja selle lähiumbruse olme- ja tööstusjäätmete ladestuskoht kuni aastani 2003, kui tööd alustas Jõelähtme prügila.



Joonis 1. Pääsküla raba ja prügila 1961 (A) ja 1988 (B) aasta Nõukogude Liidu topograafilistel kaartidel. Maaameti ajalooliste kaartide rakendus (2019).

Pääsküla prügila seisundi uuringuid alustati 1989. aastal ja 1992. aastast alustati järk-järgulist kaasaegsete prügiladestusvõtete rakendamist. Jäätmete vastuvõtmine lõpetati 3. juunil 2003 ja alustati prügila sulgemisega ning lõplikult suleti see 2007. aastal. Pääsküla prügila maht 2003. aastal oli umbes 4,5 miljonit m<sup>3</sup>, suhteline kõrgus umbes 30 m ja pindala 30 ha (Tallinna kodulehekül, 2019)

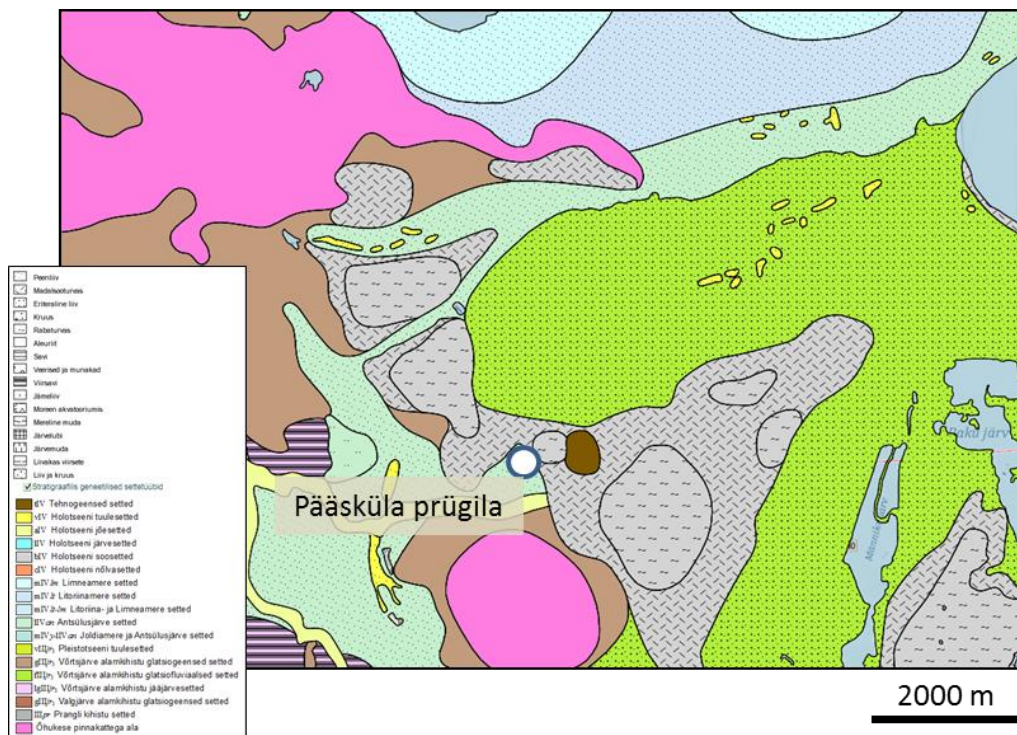
Pääsküla prügilat, sellest eralduvaid gaase, tekkivat nõrgvett ja vajumist on monitooritud prügila sulgemisest saadik. Prügila vajumist on mõõdetud 15 erinevas püsipunktis (Tallinna kodulehekül, 2019) üle prügila kuid sellisel mõõtmisel võivad jääda tähelepanuta lokaalsed vajumid, mida mõõtepunktid ei kata. Vajumiste mõõtmiseks ja selle dünaamika jälgimiseks on võimalik kasutada kaug-seire meetodeid, ennekõike aerolaserskaneerimisega (ALS) mõõdetud kõrgusandmeid.

Käesoleva töö eesmärgiks oli hinnata ALS kõrgusandmete sobivust prügilate vajumiskäitumise jälgimiseks ning uurida ALS andmete põhjal Pääsküla prügila pinna vajumisi aastatel 2008-2018 ja võrrelda neid sulgemisjärgset seiret teostava ettevõtte ELLE OÜ maapinna vajumise seire tulemustega püsipunktides.



## 1. Pääsküla soo ja vaadeldava ala geoloogiline ehitus

Prügila asukohaks on Pääsküla soo (Männiku raba). Soo lõunaosa on tüüpiline kõrgsoo, lääneosa madalsoo. Soos on tehtud ulatuslikult kuivendustöid. Pääsküla raba paikneb aluspõhjalises nõos, mida täitva pinnakatte paksus on 7-15 m. Pinnakattes esinevad noorematest vanemate setete suunas: turvas, sapropeel, peen- kuni jämeterine liiv, nõrgad savipinnased ning kruusa ja veeriseid sisaldav savimöllumoreen, milles võib läätsedena esineda peenliiva. Selle maa-ala geoloogilise läbilõike ülasosas esinevad mitmesugused jäätmed, orgaanilise osa rikas täide ning turvas. Turbakihi paksus on Pääsküla rabas kuni 5,9 m, aga prügila kohal on turbakihi paksuseks hinnatud kuni 3 m. Kuna prügila asukohas on varasemalt toodetud turvast võib prügila kohal turbakiht kohati puududa. Turba all asuva kuni 5 m paksusega peenliiva alla jääb suhteliselt nõrk kuni 7,3 m paksusega savipinnaste kompleks mille all on savimoreen paksusega kuni 5,8m. (AS Kommunaalprojekt *et al.*, 2006; Hendrikson & Ko *et al.*, 2003). Ehituslikult seisukohalt on tingimused prügila ümbruses rasked. Prügila on ümbritsetud soise alaga, kus pinnase tugevus on väike. Prügi, mis on ebahühtlase koostise ja tihedusega, valdavalt kohev ja kergesti kokkusurutav, on ladestatud kergesti kokkusurutavale turbakihiile. Looduslikke tingimusi raskendab kõrge pinnasevee tase. Pinnasevee alandamine on paiguti keeruline, kuna pinnasevee tase ei erine oluliselt veetasemetest ringkanalis ja Pääsküla jões (Hendrikson & Ko *et al.*, 2003).



Joonis 2. Pääsküla raba piirkonna pinnakatte ehitus. Geoloogiline baaskaart mõõtkavas 1:50 000. Maaameti geoloogia rakendus (2019).

## 2. Pääsküla prügila sulgemislahendus

Peaprojekterija Skanska EMV AS „Pääsküla Prügila Sulgemise“ projekti kohaselt oli eesmärgiks sulgeda Pääsküla prügimägi nõuetekohase isolatsiooni- ja kattekihtidega ning ehitada kõik prügila sulgemisega kaasnevad rajatised ja tehnosüsteemid: gaasikogumissüsteem eralduvate biogaaside kasutuselevõtuks, niisutussüsteem, nõrgvee drenaažisüsteem koos tõkendseinaga ja sadeveetorustik pumplatega, teenindustee, jälgimissüsteem jm, mis on vajalikud keskkonnanohiu ja ohutuse seisukohalt. Samuti rekonstrueerida, puhastada ja parandada prügilat ümbritsev teenindustee ja ringkraav ning teha haljastustööd (AS Kommunaalprojekt *et al.*, 2006). Pääsküla prügila sulgemisega alustati 2003. aastal ja sulgemine viidi lõpule 2007. aastal.

Prügila sulgemistööde käigus rajati:

- Olemasolev mäekülg tasandati õigete kõrgusmärkideni, paigaldati „betoniitmatt“ hüdroisolatsioonikiht ja „Secudrän“ drenmatt, mis eraldati 1m paksusest kattepinna sekist geotekstiilist vahekihi abil (AS Kommunaalprojekt *et al.*, 2006);
- Nõrg- ja pinnavee kogumissüsteemid koos nõrgvee puhastamise ja ärajuhtimissüsteemiga Tallinna linna ühiskanalisatsiooni (Tallinna kodulehekülg, 2019);
- Prügilast eralduvate gaaside kogumis- ja niisutussüsteem koos pumplatega (Tallinna kodulehekülg, 2019);
- PVC tõkendsein ümber perimeetri: vettpidavasse kihti ulatuv PVC tõkendsein sulgeb reostatud nõrgvee imbumise läbi pinnasekihtide ringkraavi ja sealt edasi Pääsküla jõkke (AS Kommunaalprojekt *et al.*, 2006);
- Keskkonnaseire süsteem, mis on koostatud prügila katmise seiresüsteemide toimimise tõhususe, gaasi, pinnasevee, põhjavee ja nõrgvee tehniliste omaduste ning mäekatendi stabiilsuse jälgimiseks. Seiresüsteemi rakendamiseks:
  - rajati väljaehitatud biogaasi kogujate võrku vajalik arv gaasiseire kaevu;
  - rajati uued seirekaevud: nõrgvee seireks 4 kaevu, pinnavee seireks 5 kaevu, põhjavee seireks 5 kaevu;
  - paigaldati 15 pinnaseireperit;
  - likvideeriti nõuetele mittevastavad põhjavee seirekaevud 5 tüüki.



(AS Kommunaalprojekt *et al.*, 2006).

Pääsküla prügila sulgemisjärgne seire on planeeritud kestma vähemalt 30 aastat (ajavahemik 2004-2034). Juhul, kui seireandmetest selgub, et prügila ei ole selleks ajaks piisavalt stabiliseerunud tuleb järelhooldeperioodi pikendada. Seiret teostab alates 2012. aastast ELLE OÜ.



Joonis 3. Pääsküla prügila Maaameti ajaloolistel aerofotodel enne sulgemist 2002. aastal (A) ja vahetult peale sulgemist 2007. aastal (B). Maaameti ajalooliste kaartide rakendus (2019).

Prügila sulgemisjärgsete kasutusvõimalustena on arutatud erinevaid variante kuid põhilised kaalutluspunktid on :

- kuivõrd on rakendatav visioon, kus prügila-alale rajatakse aktiivse vaba-aja veetmise keskus, selgub pärast prügiladest stabiliseerumist, mis võib aega võtta vähemalt 30 aastat (vastavalt Euroopa Liidu Prügiladirektiivile, mille vältel tuleb ette näha vahendid prügila järelhooldeperioodi rahastamiseks).
- Edasisi kasutusvõimalusi on raske prognoosida stabiliseerumise käigus tekkiva võimaliku vertikaalse vajumise ja lihete või muude deformatsioonide tõttu. Eeldatavalt on võimalikud kasutused, mis ei näe ette hoonestuse rajamist endisele prügiladestule. Seetõttu ei ole mõistlik

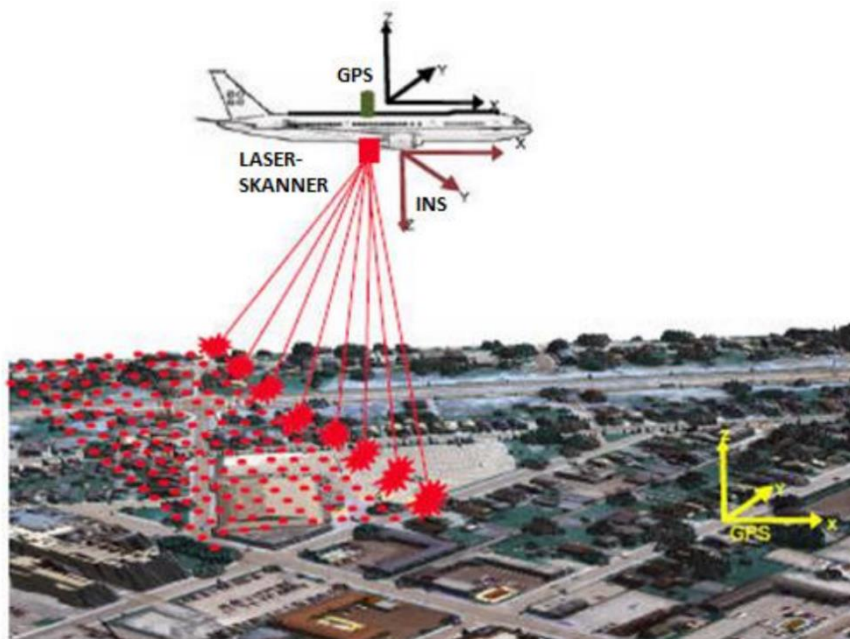
ette näha nii üldplaneeringu kui detailplaneeringu tasandil maa-ala edasisi kasutusvõimalusi eeldatavalt lähema 30 aasta jooksul.

- Raba tn. 20 piirkond jääb üldplaneeringus suletud prügila alaks.

(Hendrikson & Ko *et al.*, 2003).

### 3. Aerolaserskaneerimine

Aerolaserskaneerimine (ALS) on kaugseire meetod, mis põhineb aja mõõtmisel, mis kulub laserimpulsil tee läbimiseks laserist maapinnani ja tagasi. Meetodit tuntakse laiemalt kui LiDAR (*Light Detection And Ranging*) meetod. Määrates skaneerimise ajal lennuki positsiooni maapealse GNSS-baasjaama suhtes kogu trajektoori vältel, saadakse lennuki täpne asukoht momendil, mil laserimpulss teele lähetati. Teades täpselt lennuki hetke asukohta (GNSS), asendit (INS/IMU), impulsi lähetusnurka, impulsi kestust ja atmosfääri andmeid on võimalik välja arvutada laserpunkti peegelduse asukoht maapinnal. Maapinna peegeldustest moodustatud punktipilv on kõrgusandmestik, mis võimaldab teha topograafilisi, hüdrooloogilisi jt analüüse (Maa-ameti geoportaal, 2019). Tavaliselt kasutatakse ALS mõõdistamisel laseri monokromaatilise valguse lainepikkuseid 64 nm (lähis-infrapunane) maapinna kaardistamiseks ja 532 nm peamiselt batümeetrilisel mõõdistamisel. Laserseadmed saadavad välja ja registreerivad tuhandeid impulsse sekundis ning tüüpiliselt on impulsi kestus 6 kuni 10 nanosekundit (Lohani *et al.*, 2017)



Joonis 4. Aerolaserskaneerimise tööpõhimõtte skeem (Sobak *et al.*, 2014)

Eestis on aerolaserskaneerimise lende teostatud Maameti poolt alates 2008. aastast ja 2019 suvel lõpetatakse kolmanda ringiga. Kevadel tehakse kaardistuslende ja suvel metsandusliku otstarbega mõõdistuslende. Varem kasutas Maaamet seadet ALS50-II, mis võimaldas registreerida kuni neli peegeldust ühe impulsi kohta (Metsur *et al.*, 2009). Alates 2017. aastast

võttis Maaamet kasutusele uue aerolaserskanneri Riegl VQ-1560i. Tegemist on uue põlvkonna ALS-i seadmega, mis parandab tunduvalt punktihedust ja andmete kvaliteeti. Näiteks lennukõrgusel 2600 m saavutati üle-eestiline punktihedus 2,1p /m<sup>2</sup> (varasema laserskanneriga 0,45 p/m<sup>2</sup>) (Maa-ameti geoportaal, 2019).

Alates 01.07.2018 muutusid aerolaserskaneerimise kõrguspunktid avaandmeteks ja on allalaetavad Maa-ameti avaandmete lehelt. Andmete suure mahu tõttu levitatakse andmeid valmisloigatud 1:2000 Eesti põhikaardi lehtede kaupa. Iga selline leht hõlmab ühe ruutkilomeetri suuruse ala. Andmete levitusformaad on LAZ 1.4 ning kõik peale 1. Jaanuari 2018 välja antavad kõrguspunktid on uues EH2000 kõrgussüsteemis. (Maa-ameti geoportaal, 2019)

Väljastatavad andmed on eelklassifitseeritud erinevatesse klassidesse (kõrgusandmete tüüpidesse).

Tabel 1. Alates 2017. aastast levitatavate ALS-i andmete klassifikatsioon (Maa-ameti geoportaal, 2019):

Klass	Iseloomustus
1	Klassifitseerimata punktid
2	Maapind
5	Multipeegeldusel tekkinud esimesed ja vahepeegeldused
6	Ehitised
7	Anomaalsed maapinnast madalamad punktid
9	Veekogud
17	Mitmetasandiliste ristmike teise tasandi maapinna punktid
18	Anomaalselt kõrged punktid
Keypoint bit	maapinna iseloomulikud punktid (plaaniline kaugus >20 või kõrgusvahemik +/-0,3)
Overlap bit	Ülekattuvusala punkt

ALS mõõdistusandmete kasutamisel peab arvestama ja parandama tekkida võivaid vigu. Järgnevalt on lühike ülevaade potentsiaalsetest vigade allikatest Maa-ameti geoportaali järgi:

1) Diskreetsusest põhjustatud vead

ALS ülelende sooritatakse tavaliselt kevadel või sügisel, kui taimestik ei sega mõõdistamist. Seda sellel põhjusel, et kui punktipilvest klassifitseeritakse algoritmidega erinevaid nähtusi, siis tiheda alustaimestikuga alal võib tagasipeegeldus taimestikult saada lisatud maapinna osaks.

2) Klassifitseerimise vead:

Iga ala kohta kasutatakse sellele alale sobivaid klassifitseerimisalgoritme. Need algoritmid valitakse selle järgi, mis peaks andma parima tulemuse kogu ala kohta. Siiski mõnede parameetrite korral ei tööta algoritmid korrektselt. Näiteks algoritmi korral, mis sobib laugele alale, jäävad lokaalsed järsakud korrektselt maapinnaks klassifitseerimata. Kui samal alal kasutada liigendatud maapinna algoritmi, siis võib saada alustaimestik maapinnaks klassifitseeritud. Selliseid vigu parandatakse tavaliselt manuaalselt. Kasutaja saab ise ka vajadusel iga punkti klassifikatsiooni muuta.

3) Absoluutne plaaniline ja kõrguslik täpsus:

Andmete plaaniline täpsus on otseses seoses lennukõrgusega. Mida kõrgemalt tabab laserimpulss objekti seda suurem on selle impulsi läbimõõt. 3000 m kõrguselt on impulsi läbimõõt ~ 80 cm. Sellele lisanduvad asukohamäärangust põhjustatud vead. Kõrgusliku komponendi viga saab mõõta kontrollpunktidega. Kontrolliks sobivad kõva kattega taimestikuta pinnad, mida on võimalik maa pealt mõõta. Samuti leitakse lennuribade ülekattega aladel omavahelisi hälbeid ning need tasandatakse minimaalseteks. Seejärel kontrollitakse tulemust maapealsete kontrollpunktidega ja sellisel viisil on võimalik hälbed minimaalseks tasandada (Maa-ameti geoportaal, 2019).

#### 4. Materjal ja meetodid

Käesolevas töös on kasutatud aastate 2008, 2009, 2012, 2014, 2016 ja 2018 Eesti Maa-ameti mõõdistuslende, mis on teostatud üle 1:2000 kaardilehtede 580 536 ja 580 537. Maaametist saadud ALS andmed on töödeldud LiDARi töötlemis programmiga LAStools ja läbilõiked moodustatud MapInfoga.

Kahele 1:2000 kaardilehele paigutuva Pääsküla prügila territooriumi 1 km<sup>2</sup> katvusega ALS andmekogumid liideti LAStoolsi *lasmerge* rakendusega. Andmepunktide vähendamiseks lõigati vajalik piirkond välja LAStoolsi *las2las* rakendusega. ALS andmetest filtreeriti antud töös vajalikud maapinna kõrguspunktid ehk klass 2 punktid. Kõik muud kõrguspunktid eraldati välja LAStoolsi *lasclassify* rakenduse abil.

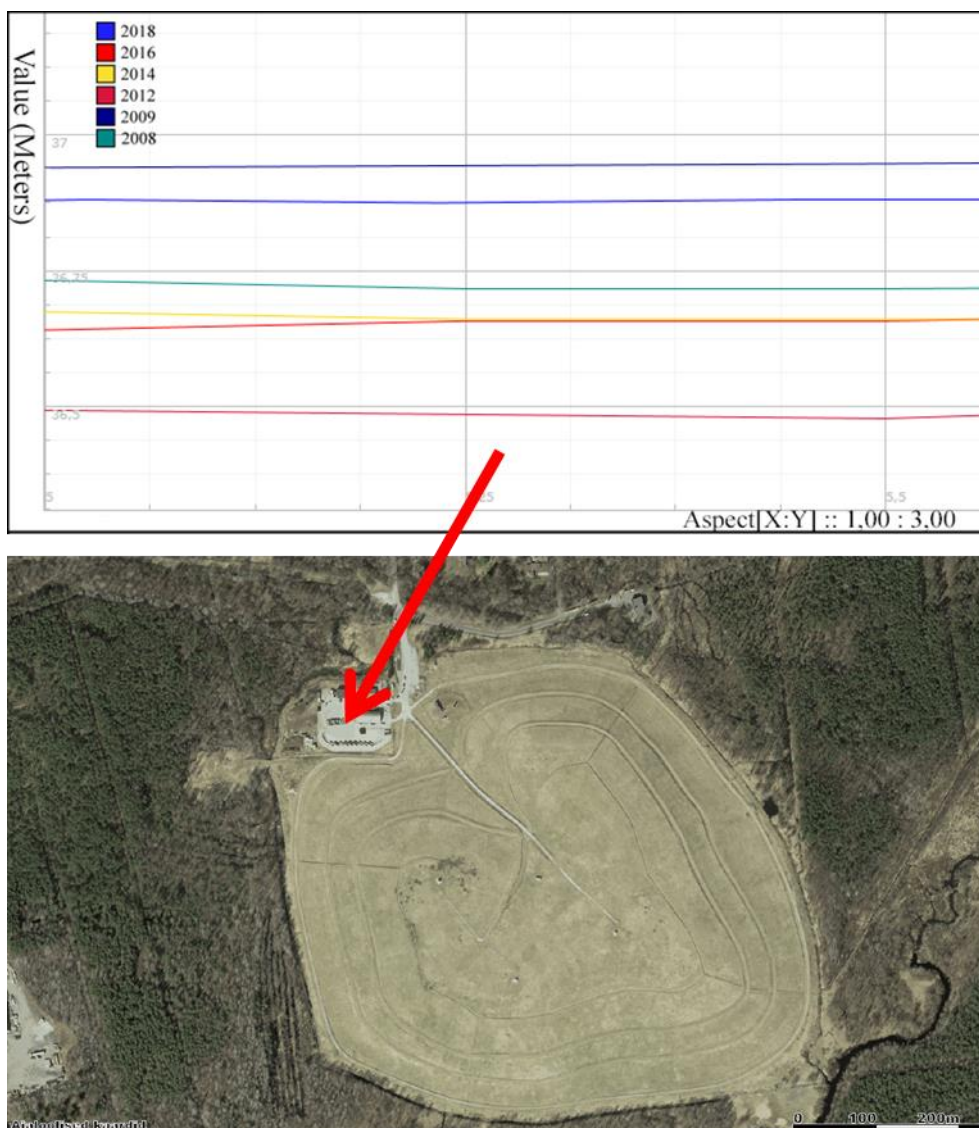
Erinevate mõõdistuslendude tulemusel Pääsküla piirkonnas on ALS andmed aastate lõikes muutuva punktihedusega. Aastate 2008, 2014 ja 2018 lendude punktihedus on antud alal oluliselt suurem võrreldes ülejäänud aastate andmetega. Punktihedused nendel aastatel on vastavalt 1,139 p/m<sup>2</sup> ja 1,709 p/m<sup>2</sup> ning aastal 2018 uue aerolaserskanneriga Riegl VQ-1560i isegi keskmiselt 20,712 p/m<sup>2</sup>.

Tabel 2. Pääsküla piirkonnas aastatel 2008 kuni 2018 tehtud mõõdistuste punktihedused:

Aasta	Punktihedus (p/m <sup>2</sup> )
2008	1,139
2009	0,262
2012	0,337
2014	1,709
2016	0,789
2018	20,712

Kuna ALS mõõdistuse puhul sisaldab andmestik standardhälbe ulatuses vigu, siis nende vähendamiseks kasutati ortofotode võrdlemisel kõva kattega, taimeistikuta ala, kus võib eeldada, et aastate lõikes pole toimunud olulisi maapinna kõrguse muutusi ja võrreldi erinevate aastate kõrgusandmeid selles punktis (joonis 5). Erinevate mõõtmiste tulemused normaliseeriti samale tasapinnale 2018. aasta kõrgusandmete suhtes, mis on kõige suurema punktihedusega 20,712 p/m<sup>2</sup>.



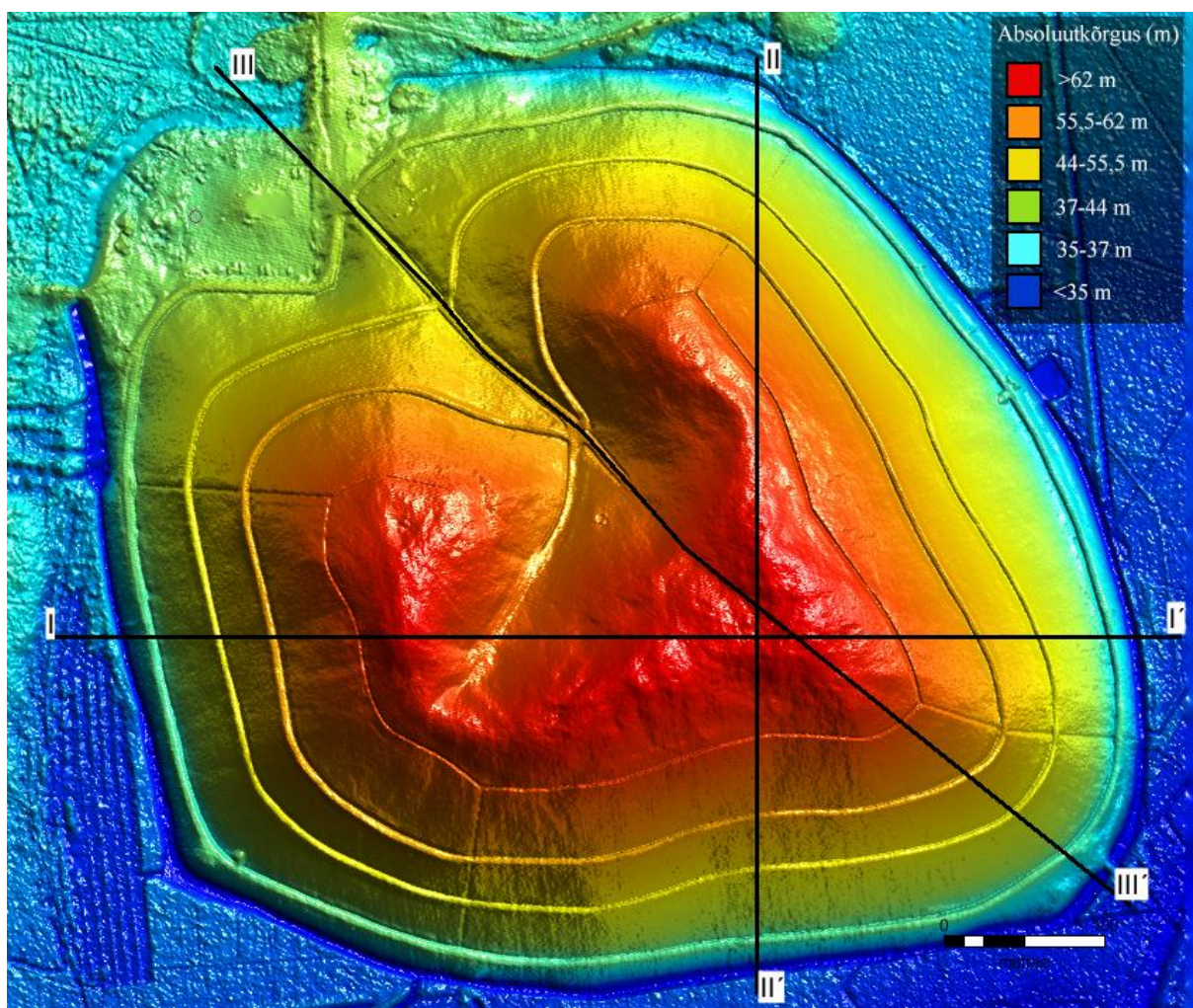


Joonis 5: Kõrgusandmete normaliseerimiseks valitud ala ja mõõdetud kõrguste erinevused aastate lõikes (Maa-ameti 2018. aasta aerofoto).

Ühildamata mõõdistuste võrdlus näitas, et erinevate aastate andmed hõlbivad 2018. aasta andmetest kuni 40 cm ulatuses. Erinevused kõrgustes normaliseeriti kogu mõõdistatud ala suhtes. Ülejäänud kontrollitud kõvakattega aladel jäid maksimaalsed hälved 5-6 cm piiresse.

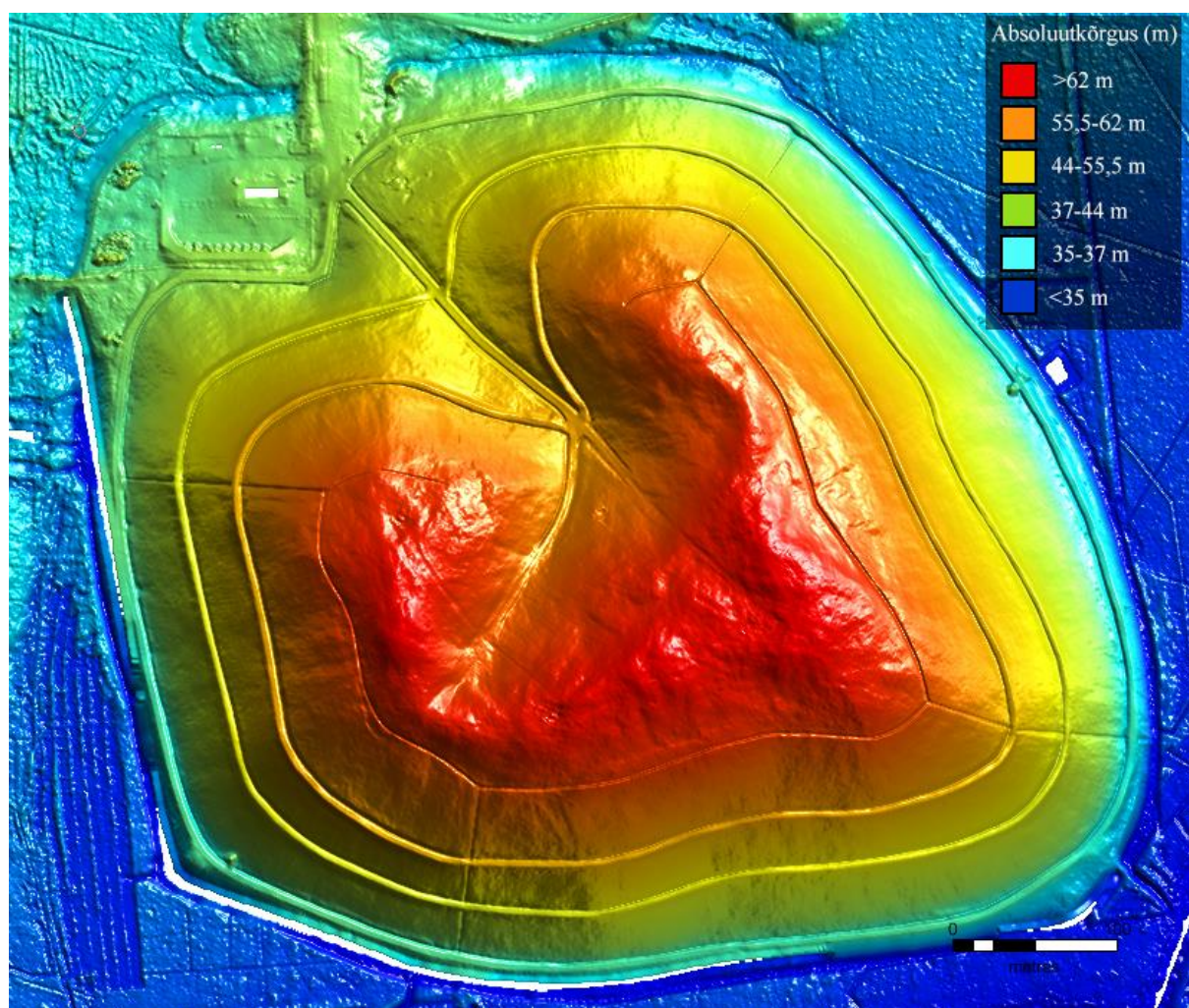
## 5. Tulemused

Uuringuala vajumite kirjeldamiseks arvutati mõõdistusandmete põhjal kõrgusmodelid (joonis 6 ja 7) mille lahutamisel saadi informatsioon pindalaaliste vajumite osas. Vajumite täpsemaks kirjeldamiseks valiti 3 läbilõikejoont - lääne-ida suunaline I-I', põhja-lõuna suunaline II-II' ja mööda juurdepääsuteed loode-kagu suunaline III-III' (joonis 6). Igast läbilõikest analüüsiti kahte valitud lõiku (joonised 9-14). Läbilõiked on koostatud MapInfo profiilitööriistaga ja kasutatud on 3x ülekörgendust.



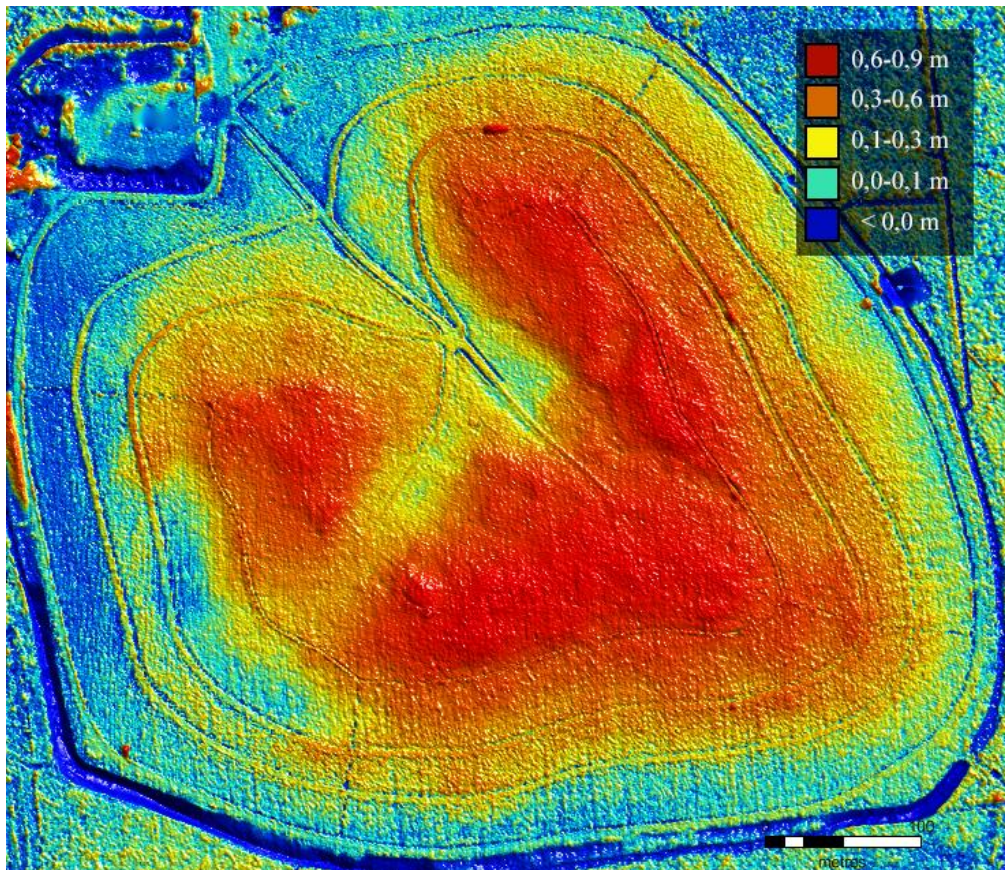
Joonis 6: Pääsküla prügila töödeldud kõrgusmodel 2008. aasta mõõdistulemuste alusel ja valitud läbilõiked





Joonis 7. Pääsküla prügila töödeldud kõrgusmudel 2018. aasta mõõdistulemuste alusel.





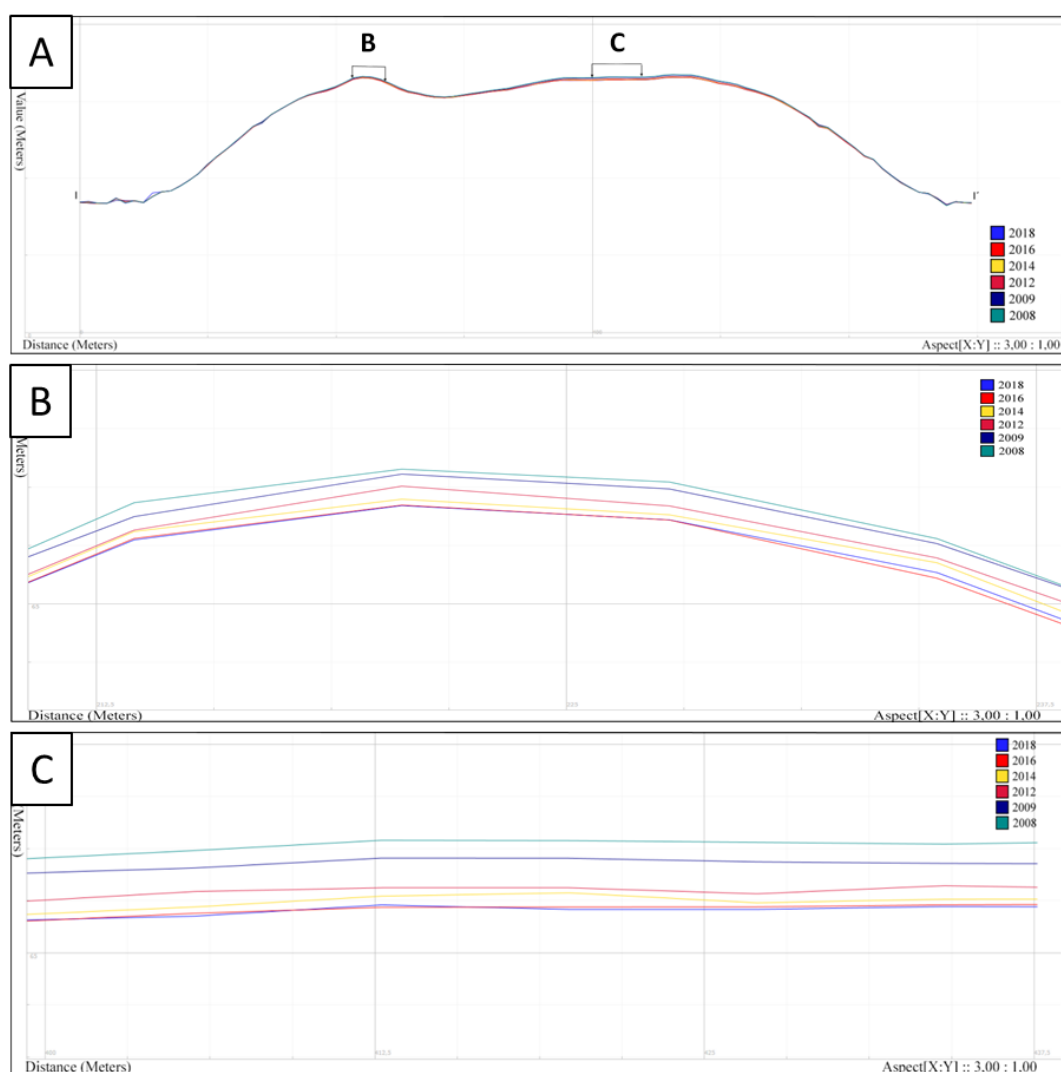
Joonis 8: Suhteline vajumine arvutatuna 2008-2016. aasta mõõtmistulemuste vahena.

Mõõtmistulemuste võrdlus näitab, et suurimad vajumid on toimunud prügikeha kõrgematel aladel ning ulatub kuni 0,8 meetrini. Vajumine on toimunud ühtlaselt kogu prügilasundi ulatuses ning väga teravalt eristuvaid tsoone, kus vajumine oleks olnud suurema amplituudiga või märkimisväärselt väiksem ei esine. Vajumine on väikseim prügila edelanõlval. Kui samas tsoonis on teistel nõlvadel vajumine 8 aasta jooksul olnud 0,3 kuni 0,6 meetrit siis selles piirkonnas on vajumine olnud kuni 0,3 m. Alal väljajoonistuvatel teedel vajumine praktiliselt puudub või jääb maksimaalselt 20-30 cm ulatusse. Vajumise ulatus väheneb selgelt prügila kõrgelt keskosalt äärtele.

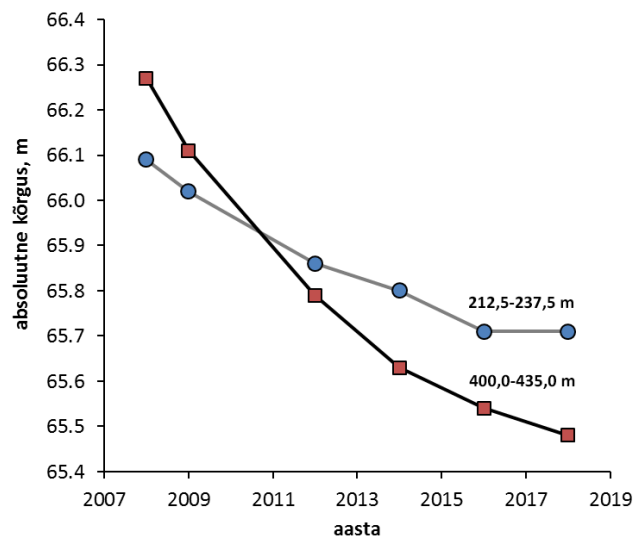
Läbilõike I-I' vajumid on suuremad profiilil C, kui profiilil B (vt. joonis 9 ja 10). Lõigul 400 – 437,5m on lasum vajunud keskmiselt kuni ~80 cm ulatuses ja lõigul 212,5 – 237,5m vajunud ~40 cm ulatuses. Läbilõikel ei ole toimunud järske langusi ja vajumid on kahanenud ühtlaselt. Kui profiil B on aastatel 2016-2018 olnud stabiilsem, siis profiil C on samal ajavahemikul vajunud keskmiselt 6 cm. Seda saab selgitada ühe anomaalse 44 cm vajumiga (lisa Tabel 2.2). Muud väärtused samal lõigul jäävad 0-3 cm vajumi ulatusse.

Läbilõike II-II' profiilid B ja C on sarnased (vt. joonis 12). Vajumid on vastavalt ~65 cm ja ~75 cm. Mõlemad on kulgenud praktiliselt samas tempos ja aastaks 2018 jõudnud stabiliseeruda selliselt, et vajumite ulatus on üldiselt kuni paar cm aastas.

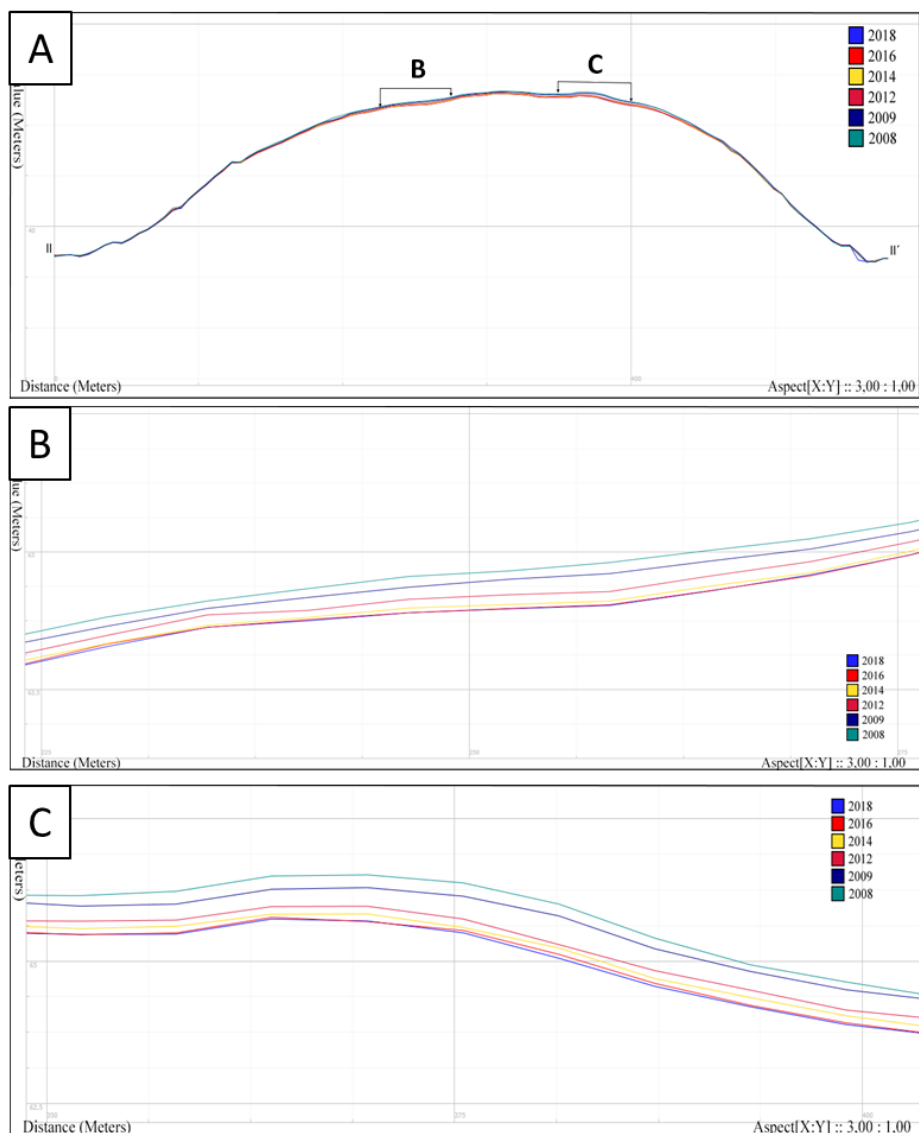
Läbilõike III-III' profiilid B ja C on iseenesest väga erinevad, sest profiiliks B sai valitud juurdepääsutee. Esimesel aastal 2008-2009 on lõik 250-270 m vajunud keskmiselt 12 cm ning edaspidi aastani 2016 mõned cm aastas. Keskmise vajum profiilil B näitab aastatel 2016-2018, et pinnas on stabiliseerunud kuigi lokaalseid kuni paar cm vajumeid on esinenud. Profiil C lõigul 500 – 550 m on vajumite ulatus olnud kuni ~80 cm. 2016 – 2018 keskmine vajum on 2 cm, aga kohati kuni 6cm.



Joonis 9: Lääne-ida suunaline läbilõige I-I' (A) (vt joonis 6), detailedd vajumid lõigul 215,5 – 237,5 m (B) ja 400 – 437,5 m (C).

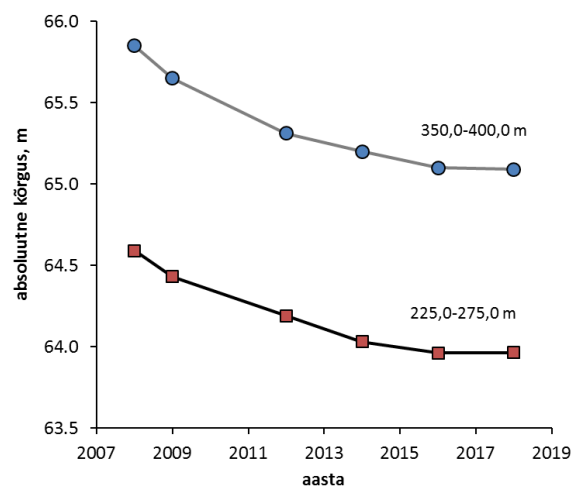


Joonis 10. Keskmised vajumid profiili I-I' lõikudes 215,5 – 237,5 m ja 400 – 437,5

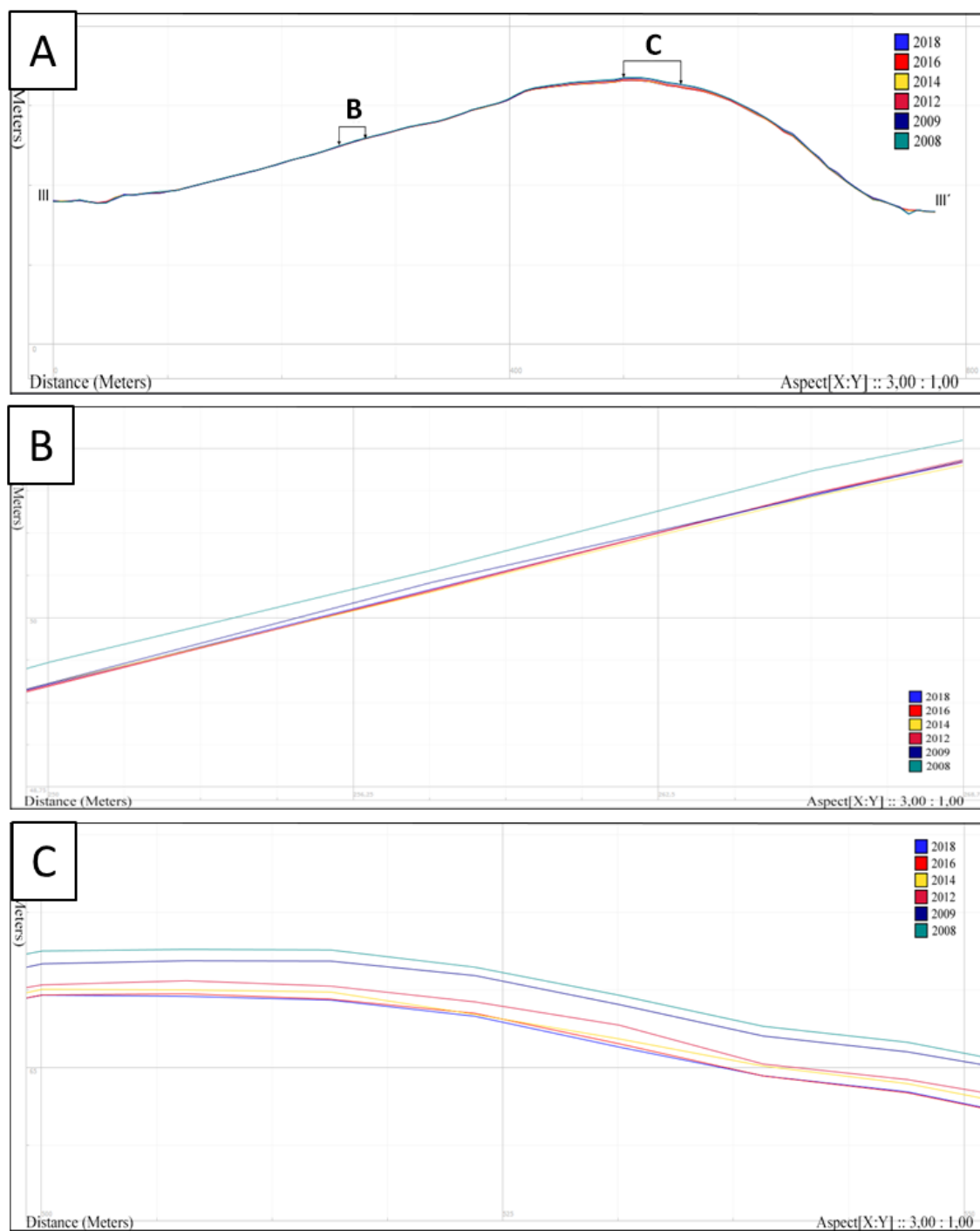


Joonis 11.: Põhja-lõuna suunaline läbilõige II-II' (A), detailsed vajumid 225 – 275m (B) ja 350 – 400 m (C).

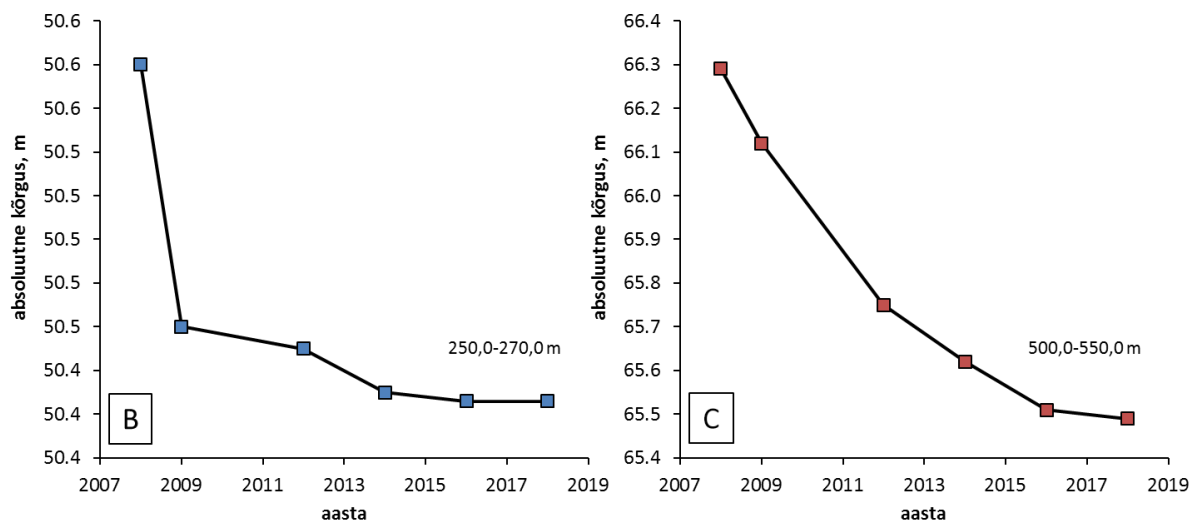




Joonis 12. Keskmised vajumid profiili II-II' lõikudes 225 – 275 m ja 350 – 400 m.



Joonis 13: Loode-kagu suunaline läbilõige III-III' (A) ja detailid 250 – 270 m (B) ning 500 – 550 m (C).



Joonis 14: Loode-kagu suunalise läbilõike III-III' keskmised vajumid 250 – 270 m (B) ning 500 – 550 m (C).

## 6. Arutelu

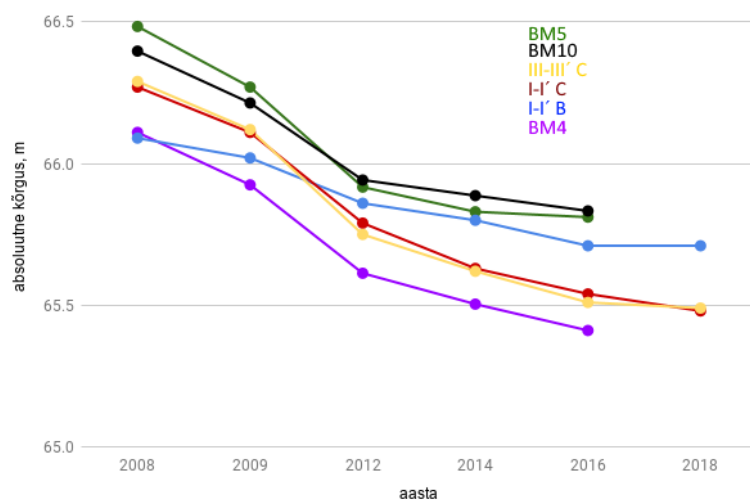
Jäätmete maht väheneb läbi aja biodegradatsiooni ja läbiuhte tõttu. Lagunemine toodab gaase nagu metaan ja süsinikdioksiid. Samuti põhjustab see ka massikaotust, mis kõik kokku põhjustab omakorda jäätmete vajumist (Powrie *et al.*, 2015). Käesolev töö ei käsitle neid aspekte mis seostuvad biodegradatsiooni ja leostisega, aga on tähtis välja tuua, et ka nendel faktoritel on suur roll prügila stabiliseerumisel ja sulgemistöodel.

Olmejäätmete vajumine on üldiselt jagatud kolmeks kompaktsiooni protsessiks:

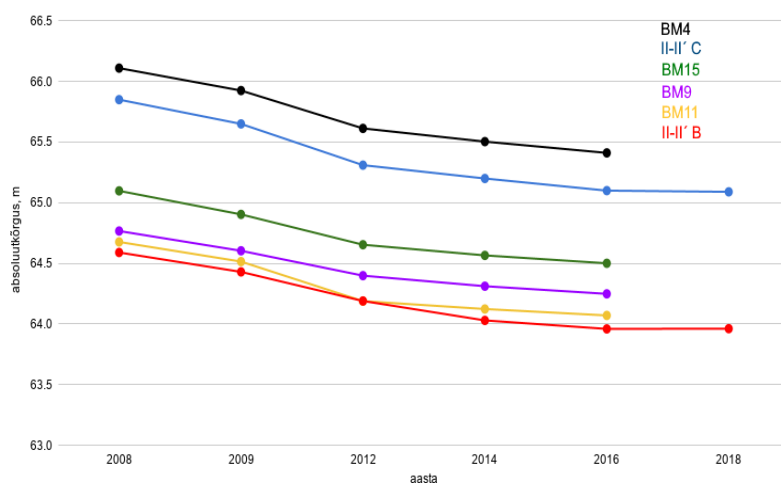
- 1) vahetu kompaktsioon;
- 2) mehhaaniline vajumine;
- 3) biokompaktsioon.

Vahetu kompaktsioon on koormusest sõltuv ja toimub kiiremini vertikaalse pinge kasvamisel (Bareither *et al.*, 2015). Selle võib omakorda jagada kaheks: 1) kohene vajumine gaasi eraldumise ja/või osakeste kokkusurumise tagajärjel ning 2) primaarne vajumine vedelikest küllastunud jäätmes vedeliku väljasurumise tagajärjel (Powrie *et al.*, 2015). Mehhaaniline vajumine ja biokompaktsioon on ajast sõltuvad protsessid, mis toimuvad püsiva vertikaalse surve all. Kui mehhaaniline vajumine tähendab füüsilist jäätme komponentide reorientatsiooni, siis biokompaktsiooniks nimetatakse jäätmete orgaanilise fraktsiooni anaeroobset lagunemist ja need toimuvad samaaegselt. Kui orgaanilise fraktsiooni biodegradatsioon on ammendunud jätkub järelejäänud jäätmete kompaktsioon mehhaanilisena. Biolagunemisega seotud vajumid võivad jäätmete heterogeense loomuse ja vanuse tõttu suuruselt väga erinevad olla. Üldiselt on nii, et mida kauem see protsess on toimunud seda väiksem see on (Bareither *et al.*, 2015).

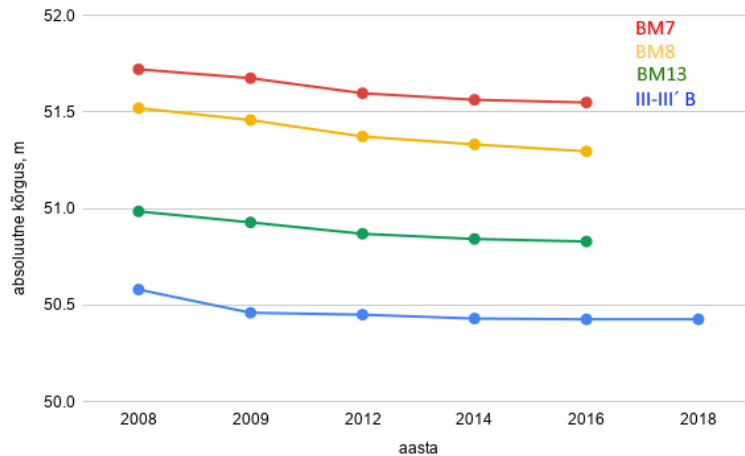
Pääsküla prügila sulgemisjärgset monitooringut teostaval ettevõttel ELLE OÜ-l on antud alal vajumite jälgimiseks paigaldatud 15 pinnasereeperit (Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ, 2017). Järgnevalt on võrreldud 9 reeperi andmeid käesoleva töö keskmiste vajumi profiilidega. Sobivad reeperid on leitud antud töö profiilidele sarnase absoluutkõrguse järgi.



Joonis 15: Profiilide I-I' B, C ja III-III' C vajumite võrdlus reeperite BM4, BM5 ja BM10 andmetega (Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ, 2017).



Joonis 16: Profiilide II-II' B ja C vajumite võrdlus reeperite BM4, BM9, BM11 ja BM15 andmetega (Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ, 2017).



Joonis 17: Profiili III-III' B vajumi võrdlus reeperite BM7, BM8 ja BM13 andmetega (Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ, 2017).

Käesoleva töö tulemused on sarnased ELLE OÜ aruande tulemustega. Kuigi vajumid on arvatud 20-50 m pikkuste lõikude järgi, siis keskmistatud tulemused on samas suurusjärgus reeper mõõtmistega. Aastatel 2008-2016 olid suurimad vajumid reeperites BM3 ja BM4 vastavalt 73 cm ja 70 cm (Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ, 2017) ning käesoleva töö läbilõikel I-I' C 73 cm ja III-III' C 78 cm. 2016. aasta mai keskpaiga seisuga olid keskmised vajumid aastatel 2014-2016 LiDARI profiilide põhjal 0.4 - 11 cm ja ELLE OÜ aruande põhjal arvatud 0.6 - 8.7 cm (Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ, 2017). Aastatel 2016-2018 LiDARI andmetel on Pääsküla prügila vajunud keskmiselt ainult 1-6 cm. Kuigi võib eeldada, et vähesel määral vajub prügila kuhila tulevikus edasi, siis võib tulemustest järeldada, et vajumiskiirus on sulgemishetkest kordades aeglustunud ja viimastel aastatel stabiliseerunud (Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ, 2017).

Vajumine on toimunud ühtlaselt kogu prügilasundi ulatuses ning väga teravalt eristuvaid tsoone ei esine. Ainukesena eristuvad prügila edelaosa nõlv, kus 2008-2016 aastate võrdluses on vajumine olnud väiksema ulatusega ja pealesõidu tee, kus vajumine praktiliselt puudub või esineb kuni 20 cm ulatuses (vt. joonis 8).

Käesoleva töö tulemuste võrdlusel ELLE OÜ mõõtmistega võib järeldada, et ALS meetod on piisavalt täpne ja samas suurusjärgus reeper mõõtmistega. See on kiire, tõhus ja ei vaja kohapealseid mõõtmisi. Samuti võib eeldada, et LiDARI andmed muutuvad tehnoloogia arenedes aina täpsemaks ja tulevikus on sellisel kaugseire viisil potentsiaali.



## Kokkuvõte

Käesolevas töös hinnati Pääsküla prügila vajumeid aastatel 2008-2018 aerolaserskaneerimise andmete põhjal ja võrreldi neid Pääsküla prügila sulgemisjärgset seiret teostava ELLE OÜ maapinna vajumise seire tulemustega püsipunktides. Eesmärgiks oli välja selgitada, kas ALS meetod on piisavalt täpne ja samas suurusjärgus reeper mõõdistusega, et tulevikus kasutada seda kaugseiremeetodina prügilate vajumiskäitumiste jälgimiseks.

Uuringuala vajumite kirjeldamiseks arvutati mõõdistusandmete põhjal kõrgusmodelid ja valiti 3 läbilõikejoont. Igal läbilõikel valiti 2 lõiku täpsemaks vajumite määramiseks. Kõrgusmodelid ja läbilõiked koostati MapInfo profiilitööriistaga.

Tulemused näitasid, et suurimad vajumid on toimunud aladel, kus prügikeha on pakseim ulatudes koguvajumina aastatel 2008 kuni 2018 kuni 0,8 meetrini. Seejuures on toimunud vajumine ühtlaselt kogu prügilasundi ulatuses ning väga teravalt eristuvaid tsoone, kus vajumine oleks olnud suurema amplituudiga või märkimisväärselt väiksem ei esine va. prügila edelanõlv ja juurdepääsutee.

Töö eesmärgi võrrelda ALS meetodit reeper mõõtmisega võib pidada edukaks. ALS ja reeper mõõdistuse meetodeid saab lugeda täpsuse poolest võrdväärseks, kuid LiDAR mõõdistamine on selle juures tunduvalt kiirem, tõhusam ja ei vaja kohapealseid mõõtmisi. Lisaks on kaugseire süsteemid pidevas kiires arengus, muutuvad aina täpsemaks ja juba lähitulevikus võib see meetod olla selles rakenduses väga potentsiaalikas.

## Summary

The aim of this study was to assess the suitability of ALS altitude data to monitor landfill behaviour and to investigate the subsidence of Pääsküla landfill on the basis of 2008-2018 ALS data and compare them with the results of the post-closure monitoring company ELLE OÜ. The aim was to assess whether the ALS method is sufficiently accurate and of the same magnitude as the reeper measurements to be used as a remote sensing method to monitor landfill behaviour in landfills in the future.

Surface models were created on the basis of the survey and 3 cross-sections were selected to describe the study area. In each cross-section, 2 sections were selected for more accurate assessment. Cross-sections and raster images have been processed and created with LAStools LiDAR processing software and MapInfo Discover 2016.

The results showed that the largest subsidences, reaching up to 0.8 meters, were in the areas where the landfill is the highest. Sinking has been steady across the landfill site except southwestern slope and the access road of the landfill.

The purpose of the study to compare the ALS method with the reeper measurements can be considered successful. The ALS and reeper surveying methods can be considered to be equivalent in terms of accuracy, but LiDAR surveying is much faster, more efficient and requires no on-site measurements. In addition, remote sensing systems are in constant development, becoming increasingly accurate and in the near future this method may be very potential in this application.

## **Tänuavaldused**

Töö autor soovib tänada juhendajaid Peeter Paaverit ja Kalle Kirsimäed.

## Kasutatud kirjandus

AS Kommunaalprojekt, (2006). Pääsküla jäätmejaama keskkonnamõju hindamine.

Bareither, C. A., Kwak, S., (2015). Assessment of municipal solid waste settlement models based on field-scale data analysis, Elsevier Waste Management 42, 101–117.

Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ, (2017). Pääsküla prügilasulgemisjärgne seire 2015-2016 tulemused ja koondülevaade.

Hendrikson & Ko, (2003). Pääsküla prügila sulgemisprojekti ekspertiis ja keskkonnamõju hindamine, riigihange 009084.

Lohani, B., Ghosh, S., (2017), Airborne LiDAR Technology: A Review of Data Collection and Processing Systems, Proceedings of the National Academy of Sciences, India – Section A.

Maa-amet, Aerolaserskaneerimise kõrguspunktid, (2019). Kasutatud 01.06.2019, <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed/Aerolaserskaneerimise-korguspunktid-p499.html>

Metsur, M. (2009), LIDAR Leica ASL50-II, Maa-amet, Fotogramm-meetria osakond, Kasutatud 01.06.2019,  
[http://geoportaal.maaamet.ee/docs/fotogrammmeetria/2009\\_LIDAR\\_2.pdf?t=20091211092209](http://geoportaal.maaamet.ee/docs/fotogrammmeetria/2009_LIDAR_2.pdf?t=20091211092209)

Powrie, W., Richards, D., Beaven, R., (2015). Geotechnical hazards associated with closed municipal solid waste landfill sites, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 26.

Prügilate sulgemise tagamaad ja tagajärjed, (2009). Kasutatud 01.06.2019, <https://www.envir.ee/et/uudised/prugilate-sulgemise-tagamaad-ja-tagajarjed>

Sobak, M. (2014). Pinnavormide laserskaneerimine ja 3D modelleerimine. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut.

Tallinnalinn kodulehekül, Pääsküla prügila, (2019). Kasutatud 01.06.2019, <https://www.tallinn.ee/est/keskkond/Paaskula-prugila-2>

## Lisad

### 1. Läbilõigete kõrgused

Tabel 1.1 : Profiil I-I' 212.5 – 237.5

I-I'	212.5(m)	217.5(m)	222.5(m)	227.5(m)	232.5(m)	237.5(m)
2008	65.92	66.33	66.43	66.31	66.05	65.34
2009	65.79	66.26	66.38	66.26	65.95	65.33
2012	65.69	66.13	66.23	66.07	65.78	65.10
2014	65.64	66.03	66.15	66.03	65.69	65.08
2016	65.56	65.97	66.06	65.92	65.62	64.96
2018	65.58	65.98	66.03	65.93	65.62	65.01

Tabel 1.2: Profiil I-I' 400 – 435 m

I-I'	400(m)	405(m)	410(m)	415(m)	420(m)	425(m)	430(m)	435(m)
2008	66.09	66.22	66.31	66.34	66.34	66.30	66.30	66.29
2009	65.95	66.00	66.11	66.16	66.13	66.11	66.10	66.07
2012	65.63	65.71	65.84	65.83	65.78	65.80	65.76	65.76
2014	65.44	65.53	65.63	65.68	65.71	65.61	65.61	65.62
2016	65.38	65.45	65.58	65.58	65.54	65.52	65.52	65.55
2018	65.36	65.43	65.56	65.55	65.10	65.53	65.53	65.55

Tabel 1.3: Profiil II-II' 225 – 275 m

II-II'	225(m)	230(m)	235(m)	240(m)	245(m)	250(m)	255(m)	260(m)	265(m)	270(m)	275(m)
2008	63.57	63.91	64.14	64.29	64.52	64.59	64.70	64.89	65.09	65.24	65.53
2009	63.44	63.78	64.00	64.16	64.34	64.44	64.54	64.67	64.92	65.06	65.36
2012	63.12	63.56	63.87	63.93	64.11	64.17	64.19	64.42	64.68	64.89	65.17
2014	63.10	63.44	63.67	63.80	63.97	63.99	64.01	64.21	64.49	64.65	64.99
2016	63.03	63.40	63.66	63.76	63.88	63.91	63.96	64.14	64.38	64.56	64.91
2018	63.06	63.39	63.64	63.74	63.89	63.97	63.96	64.11	64.38	64.58	64.89

Tabel 1.4: Profiil II-II' 350 – 400 m

II-II'	350(m)	355(m)	360(m)	365(m)	370(m)	375(m)	380(m)	385(m)	390(m)	395(m)	400(m)
2008	66.1	66.15	66.33	66.5	66.51	66.39	66.09	65.62	65.2	64.8	64.64
2009	65.94	65.94	66.01	66.26	66.29	66.19	65.9	65.41	65.03	64.69	64.47
2012	65.64	65.69	65.74	65.96	65.96	65.81	65.47	65.05	64.58	64.34	64.1
2014	65.64	65.56	65.64	65.85	65.82	65.61	65.32	64.86	64.53	64.29	64.00
2016	65.49	65.5	65.58	65.73	65.69	65.59	65.23	64.76	64.42	64.11	63.9
2018	65.49	65.48	65.56	65.75	65.7	65.55	65.24	64.76	64.4	64.07	63.88

Tabel 1.5: Profiil III-III' 250 – 270 m

III-III'	250(m)	252.5(m)	255(m)	257.5(m)	260(m)	262.5(m)	265(m)	267.5(m)	270(m)
2008	49.70	49.93	50.11	50.35	50.59	50.79	51.07	51.26	51.44
2009	49.55	49.82	50.03	50.26	50.46	50.67	50.87	51.11	51.35
2012	49.52	49.83	50.04	50.21	50.51	50.62	50.88	51.10	51.32
2014	49.55	49.81	49.99	50.19	50.40	50.62	50.88	51.11	51.30
2016	49.55	49.77	49.98	50.20	50.42	50.63	50.89	51.09	51.28
2018	49.53	49.80	50.00	50.21	50.42	50.64	50.91	51.11	51.28

Tabel 1.6: Profiil III-III' 500 – 550 m

III-III'	500(m)	505(m)	510(m)	515(m)	520(m)	525(m)	530(m)	535(m)	540(m)	545(m)	550(m)
2008	66.89	66.88	66.93	66.88	66.73	66.51	66.21	65.86	65.62	65.47	65.19
2009	66.68	66.68	66.72	66.70	66.58	66.38	66.05	65.71	65.46	65.29	65.10
2012	66.36	66.38	66.39	66.30	66.21	66.00	65.69	65.36	65.05	64.84	64.65
2014	66.25	66.24	66.25	66.21	66.06	65.81	65.57	65.18	64.89	64.75	64.55
2016	66.17	66.15	66.13	66.09	65.96	65.75	65.45	65.04	64.81	64.64	64.38
2018	66.13	66.11	66.11	66.07	65.99	65.69	65.39	65.07	64.78	64.67	64.36

## 2. Läbilõigete vajumid

Tabel 2.1: Profiil I-I' 212.5 – 237.5 m

I-I'	212,5(m)	217.5(m)	222.5(m)	227.5(m)	232.5(m)	237.5(m)	Kesk.
2008	65,92	66.33	66.43	66.31	66.05	65.34	66.09



2009	-0.13	-0.07	-0.05	-0.05	-0.10	-0.01	-0.07
2012	-0.10	-0.13	-0.15	-0.19	-0.17	-0.23	-0.16
2014	-0.05	-0.10	-0.08	-0.04	-0.09	-0.02	-0.06
2016	-0.08	-0.06	-0.09	-0.11	-0.07	-0.12	-0.09
2018	0.02	0.01	-0.03	0.01	0.00	0.05	0.01

Tabel  
2.2:

Profil I-I' 400 – 435 m

I-I'	400(m)	405(m)	410(m)	415(m)	420(m)	425(m)	430(m)	435(m)	Kesk.
2008	66.09	66.22	66.31	66.34	66.34	66.3	66.3	66.29	66.27
2009	-0.14	-0.22	-0.20	-0.18	-0.21	-0.19	-0.20	-0.22	-0.16
2012	-0.32	-0.29	-0.27	-0.33	-0.35	-0.31	-0.34	-0.31	-0.32
2014	-0.19	-0.18	-0.21	-0.15	-0.07	-0.19	-0.15	-0.14	-0.16
2016	-0.06	-0.08	-0.05	-0.10	-0.17	-0.09	-0.09	-0.07	-0.09
2018	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.44	0.01	0.01	0.00	-0.06

Tabel 2.3: Profiili II-II' 225 – 275 m

II-II'	225(m)	230(m)	235(m)	240(m)	245(m)	250(m)	255(m)	260(m)	265(m)	270(m)	275(m)	Kesk.
2008	63.57	63.91	64.14	64.29	64.52	64.59	64.7	64.89	65.09	65.24	65.53	64.59
2009	-0.13	-0.13	-0.14	-0.13	-0.18	-0.15	-0.16	-0.22	-0.17	-0.18	-0.17	-0.16
2012	-0.32	-0.22	-0.13	-0.23	-0.23	-0.27	-0.35	-0.25	-0.24	-0.17	-0.19	-0.24
2014	-0.02	-0.12	-0.20	-0.13	-0.14	-0.18	-0.18	-0.21	-0.19	-0.24	-0.18	-0.16
2016	-0.07	-0.04	-0.01	-0.04	-0.09	-0.08	-0.05	-0.07	-0.11	-0.09	-0.08	-0.07
2018	0.03	-0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.06	0.00	-0.03	0.00	0.02	-0.02	0.002

Tabel 2.4: Profiili II-II' 350 – 400 m

II-II'	350(m)	355(m)	360(m)	365(m)	370(m)	375(m)	380(m)	385(m)	390(m)	395(m)	400(m)	Kesk.
2008	66.1	66.15	66.33	66.5	66.51	66.39	66.09	65.62	65.2	64.8	64.64	65.85
2009	-0.16	-0.21	-0.32	-0.24	-0.22	-0.20	-0.19	-0.21	-0.17	-0.11	-0.17	-0.20
2012	-0.30	-0.25	-0.27	-0.30	-0.33	-0.38	-0.43	-0.36	-0.45	-0.35	-0.37	-0.34
2014	0.00	-0.13	-0.10	-0.11	-0.14	-0.20	-0.15	-0.19	-0.05	-0.05	-0.10	-0.11
2016	-0.15	-0.06	-0.06	-0.12	-0.13	-0.02	-0.09	-0.10	-0.11	-0.18	-0.10	-0.10
2018	0.00	-0.02	-0.02	0.02	0.01	-0.04	0.01	0.00	-0.02	-0.04	-0.02	-0.01

Tabel 2.5: Profiili III-III' 250 – 270 m

III-III'	250(m)	252.5(m)	255(m)	257.5(m)	260(m)	262.5(m)	265(m)	267.5(m)	270(m)	Kesk.
----------	--------	----------	--------	----------	--------	----------	--------	----------	--------	-------

2008	49.70	49.93	50.11	50.35	50.59	50.79	51.07	51.26	51.44	50.58
2009	-0.15	-0.11	-0.08	-0.09	-0.13	-0.12	-0.20	-0.15	-0.09	-0.12
2012	-0.03	0.01	0.01	-0.05	0.05	-0.05	0.01	-0.01	-0.03	-0.01
2014	0.03	-0.02	-0.05	-0.02	-0.11	0.00	0.00	0.01	-0.02	-0.02
2016	0.00	-0.04	-0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	-0.02	-0.02	-0.004
2018	-0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01

Tabel 2.6: Profiili III-III' 500 – 550 m

III-III'	500 m	505 m	510 m	515 m	520 m	525 m	530 m	535 m	540 m	545 m	550 m	Kesk.
2008	66.89	66.88	66.93	66.88	66.73	66.51	66.21	65.86	65.62	65.47	65.19	66.29
2009	-0.21	-0.20	-0.21	-0.18	-0.15	-0.13	-0.16	-0.15	-0.16	-0.18	-0.09	-0.17
2012	-0.32	-0.30	-0.33	-0.40	-0.37	-0.38	-0.36	-0.35	-0.41	-0.45	-0.45	-0.37
2014	-0.11	-0.14	-0.14	-0.09	-0.15	-0.19	-0.12	-0.18	-0.16	-0.09	-0.10	-0.13
2016	-0.08	-0.09	-0.12	-0.12	-0.10	-0.06	-0.12	-0.14	-0.08	-0.11	-0.17	-0.11
2018	-0.04	-0.04	-0.02	-0.02	0.03	-0.06	-0.06	0.03	-0.03	0.03	-0.02	-0.02

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Marko Kabel

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

## **Pääsküla prügila vajumise hindamine Maa-ameti ALS-i andmete põhjal,**

mille juhendajad on Peeter Paaver ja Kalle Kirsimäe,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Marko Kabel

01.06.2019